

文章编号:1009-3850(2019)03-0084-08

新构造运动在南黄海盆地的表现及其对油气成藏的影响

陈春峰

(中海石油(中国)有限公司上海分公司, 上海 200335)

摘要:在精细地震资料构造解释基础上,认为上新世—第四纪是南黄海盆地新构造运动的主要活动期,对应南黄海盆地第二个阶段的断裂活动期。垂向上,新构造运动具有早晚构造响应差异:早期南北向弱挤压背景下以张性正断层为主,晚期东西向两幕挤压背景下以逆断层和褶皱为主;平面上,新构造运动影响亦具有差异:北部坳陷活动强烈、正断层发育、逆断层少量,而南部坳陷活动较弱。新构造运动与北部坳陷烃源岩的生排烃时期吻合,断裂带是重要输导体系,也是重要的潜在成藏区。

关键词:新构造运动;南黄海盆地;油气成藏

中图分类号:P553

文献标识码:A

引言

不同的学者对新构造运动的概念和时间的界定尚有争议。从中国近海的地质特点及油气成藏的角度来看,中国近海的新构造运动是指新近纪至第四纪的构造运动,重点是中新世末(大约 5.2 Ma)至现今的构造运动^[1-3]。新构造运动在我国东部的大部分盆地,如渤海湾盆地、东海陆架盆地及南海的莺歌海盆地都有所表现^[2,10-11,7],主要表现为岩浆活动、断裂活动、地震活动等,其对油气成藏的控制和影响作用较大。通过分析中国主要沉积盆地大中型油气田的成藏期发现,受新构造运动控制的探明储量占总储量的 50% 以上^[5],而尤以渤海湾盆地最明显,其油气的生、运、聚、散现今仍在进行。侯方辉等(2005)研究发现,南黄海第四纪地层中的断裂基本都是活动断裂,且壳内浅源地震活动较多,第一次提出南黄海新构造运动的存在^[3]。前人

对南黄海盆地表层沉积物烃类地球化学探测结果分析也发现盆地的表层沉积物存在烃类异常^[6]。由于烃类渗漏通常与贯通海底的断裂有关,新构造运动很可能对南黄海盆地的油气成藏影响较大。因此,南黄海盆地新构造运动的表现、形成机制及其对油气成藏的影响是目前亟待研究的重点问题,其对南黄海的油气勘探具有重要意义。本文以南黄海盆地北部坳陷为主要研究对象,探讨南黄海盆地新构造运动的表现,并首次论述其对油气成藏的影响。

1 区域地质概况

南黄海盆地位于下扬子地台上,是一个在十分复杂的中生代基底上演化而来的断陷盆地。南黄海盆地是下扬子地块沿北东方向在海域的自然延伸,盆地整体呈北东走向,盆地西南部与苏北盆地相连(图 1)。由于该区基底刚性强度低,在中、新生

收稿日期:2019-05-22; 改回日期:2019-06-18

作者简介:陈春峰(1972-),男,高级工程师,主要从事石油地质方面的研究。E-mail:chenchf@cnooc.com.cn

基金项目:中海石油(中国)有限公司项目“南黄海盆地中部隆起古地理重建及成藏主控因素研究”(YXKY-2018-SH-01)

代强烈构造活动中,区域构造变形十分强烈。印支—早燕山期,该区卷入中国东南部沿海大陆的冲断推覆构造作用,形成了十分复杂的冲断推覆构造体系;其后,在区域大面积隆升剥蚀背景上,发育一系列分割性极强的小型断陷盆地。这种复杂的基底构造格局影响了后期的构造演化,自晚白垩世以来,区域上以拉张作用为主,在晚白垩世发育了陆相沉积盆地;新生代,苏北—南黄海地区形成了大量分割性极强的箕状断陷,接受了新生代巨厚河流湖泊相沉积建造^[13-14]。

区域上,南黄海盆地可划分为5个构造单元,自北向南为千里岩隆起、北部拗陷、中部隆起、南部拗陷和勿南沙隆起。北部拗陷埋深较深、面积相对较大,可细分为8个次级凹陷、6个凸起;南部拗陷可细分为6个次级凹陷、3个凸起;千里岩隆起、中部隆起和勿南沙隆起主要被新近系—第四系沉积岩所覆盖,缺失上白垩统一古近系。

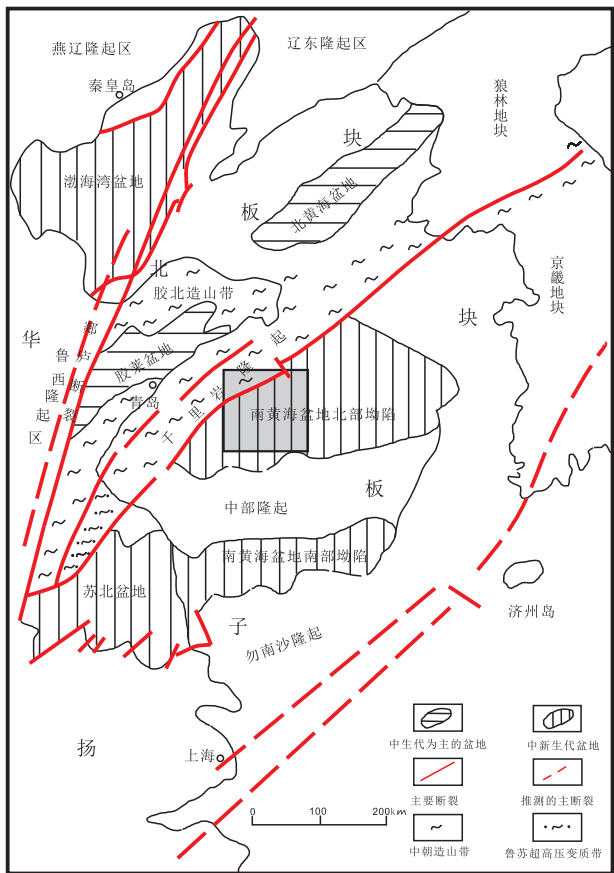


图1 南黄海盆地构造区划图

Fig. 1 Tectonic division of the South Yellow Sea Basin

南黄海盆地发育了晚白垩世及新生代地层。钻孔揭示,南黄海盆地发育了上白垩统浦口组、泰州组地层,在古近纪发育了阜宁组、戴南组、三垛组地层,在新近纪至第四纪发育了中新统下盐城组、上新统上盐城组和第四系。

2 新构造运动在南黄海盆地的表现

通过对南黄海盆地地震资料解释后发现,区内浅部地层发育大量断层,尤其以北部拗陷较为典型,南部拗陷相对较低弱。本文选取北部拗陷的主体为重点研究区(图2,范围见图1)。这些断层切割的地层很新(图3),大部分断至上新统地层,少部分断至海底,说明部分断层在现今仍处于活动期。

从断裂切割的地层及活动史分析,南黄海盆地的断裂活动分为两个阶段。第一阶段主要活动期是晚白垩世—古近纪,主要是早期盆地沉降时在凹陷边界形成的张性大断层(图3中所示红色断层)及相应的调节断层(图3中所示蓝色断层),断裂切过的地层主要为基底至戴南组地层,这一阶段又可细分为多个次级活动期;第二阶段是新近纪—第四纪,主要是盆地在区域热沉降时形成的断层,断裂切过的地层主要为中新统至第四系(图3中T₂₀界面以上地层),其中又以T₁₀界面上下断裂最发育,而T₁₀界面代表了中新世末期(5.2Ma)所形成的地质界面。因此,南黄海盆地第二阶段的断裂活动主要集中在5.2Ma至现今,是典型的新构造运动。

南黄海盆地新构造运动形成的断裂又可分为正断层和逆断层两类。正断层又细分为两部分:一部分继承性发育在早期的深大断裂带上,在新构造运动期间重新活动,并与早期断裂沟通(图2、3);另一部分正断层与早期断裂不连通,是单纯地受晚期拉张应力影响产生的断层(图2、3)。根据对其中9条正断层统计分析,新构造运动产生的正断层垂直断距为12~129m,平均38.6m,说明正断层活动并不很强烈,垂向断距不大(表1)。

新构造运动产生的第二类断裂是逆断层(图4、5)。通过对F1断层的断距进行恢复(表1),对该断层的活动史可以得出如下认识:(1)晚白垩世,F1断层为正断层,断距为342m,始新世期间该断层基本不活动;(2)渐新世期间,该断层在区域东西向挤压

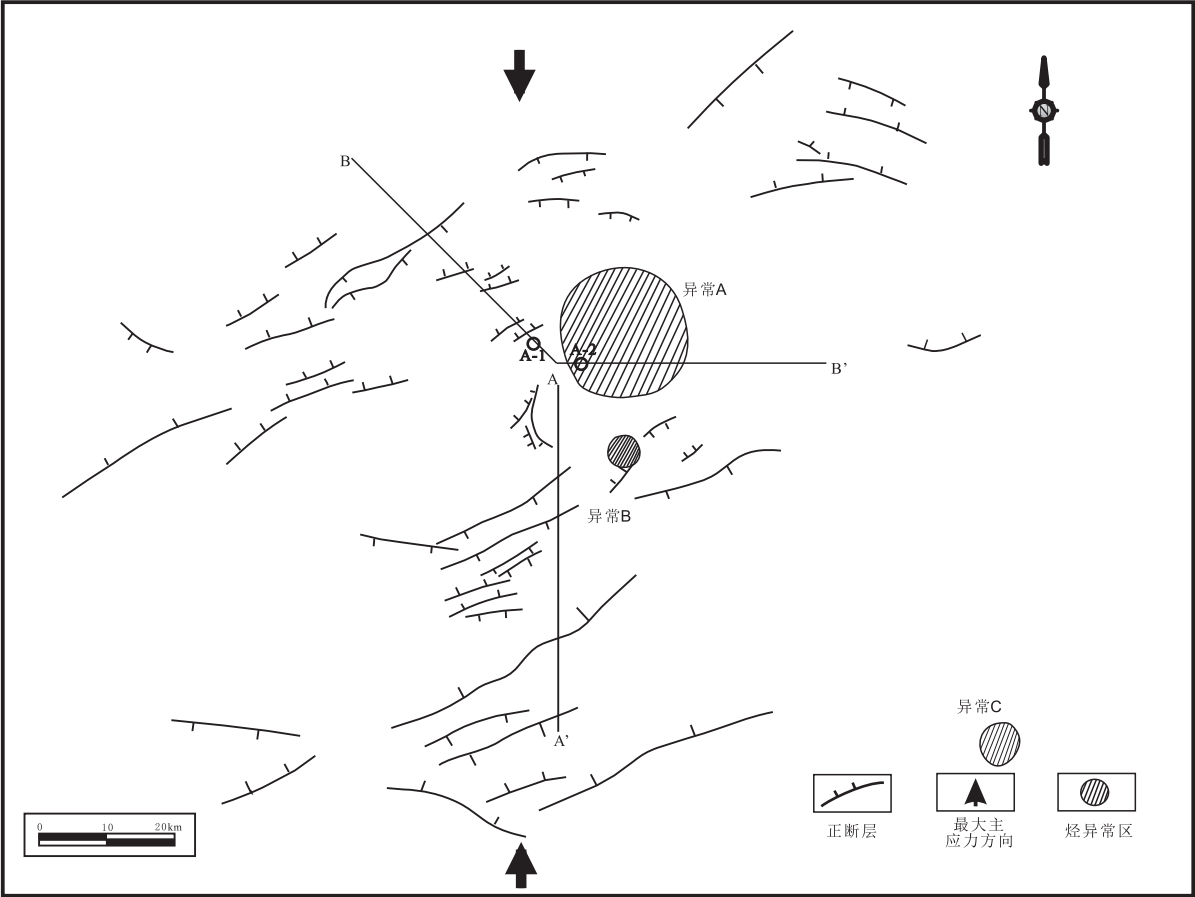


图2 南黄海盆地北部坳陷上新世活动断裂分布图

Fig. 2 Distribution of the active faults in the northern depression of the South Yellow Sea Basin during the Pliocene

表1 南黄海盆地北部坳陷新近纪及第四纪部分断裂断距统计表

Table 1 Statistics of fault displacements in the northern depression of the South Yellow Sea Basin during the Neogene and Quaternary

地质时代	断层在各时期产生断距(m)									
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
晚白垩世	342									
始新世	0									
渐新世	-1332									
中新世	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
上新世	0	34	23	129	30	63	12	33	32	30
第四纪	-310	0	0	0	0	0	0	0	0	0

应力作用下产生逆冲,垂向逆断距为 1332m,造成断层上升盘的三垛组-泰州组地层受到强烈剥蚀,地层剥蚀量达 1000m 以上;(3)在中新世,构造比较稳定,整体沉积了一套厚度稳定的下盐城组沉积及上盐城组沉积的大部分;(4)大约在上新世末期至第四纪初期,区域构造应力变为以挤压为主,该断层

重新活动产生逆冲作用。逆断层上升盘的上盐城组地层遭受强烈剥蚀,形成了第四系与下伏地层之间明显的角度不整合 T_0 面(见图 5 中箭头所示)。经计算,F1 逆断层在该期活动中产生的逆断距为 310m,沿 F1 断层的上盐城组地层也达到了 100~300m,说明上新世晚期在南黄海部分地区存在强烈

的挤压作用。

上新世晚期的挤压作用一方面形成了逆断层,另一方面形成了众多的褶皱。这些褶皱一部分受逆断层控制,另一部分则不受逆断层的控制而是位于上新世所形成的正断层附近(图5)。据统计,在上新世晚期的挤压作用下北部坳陷形成了11个浅层背斜圈闭。

新构造运动对南黄海盆地全区都有影响,但以北部坳陷较为显著,南部坳陷相对较弱。以北部坳陷中西部的重点研究区为例,在新构造运动期间形成的正断层共计79条(图2),其中长度小于10km的小型断层有51条,长度大于10km的大型断层有28条。从平面上来看,正断层走向主要为北东向,个别为北西走向。新构造运动产生的逆断层在重点研究区有1条(图4),为长度约23km的大型F1逆断层,走向北北西,是晚期近东西向挤压作用的结果。另外,在图4所示研究区的东部还发育一条走向北北西的大型逆断层,其特征与F1断层基本

类似。盆地南部坳陷的新近系及第四系地层中也发育了少量的正断层,但数量较北部坳陷少。南部坳陷的浅层在上新世末—第四纪早期的挤压期未发育逆断层,仅发育少量的挤压褶皱。

综合上述分析,新构造运动在南黄海盆地表现明显,上新世到第四纪是主要活动期,早期以张性正断层活动为主,中晚期受挤压应力影响产生了逆断层和挤压褶皱。

3 南黄海盆地新构造运动的成因

前人认为,中国近海新构造运动主要有4种成因^[2]:(1)近代板块运动诱发的新构造运动,如东海陆架盆地西湖凹陷中新世末反转构造;(2)深部动力源诱发区域大断裂的继承性活动或重新活动,如纵贯渤海的郯庐断裂带;(3)盆地快速沉降和区域应力场变化诱发的底辟活动,如莺歌海盆地中央持续的底辟活动;(4)陆架陆坡转折带沉积体的滑塌陷落诱发的陆架、陆坡转折带断裂重新活动。

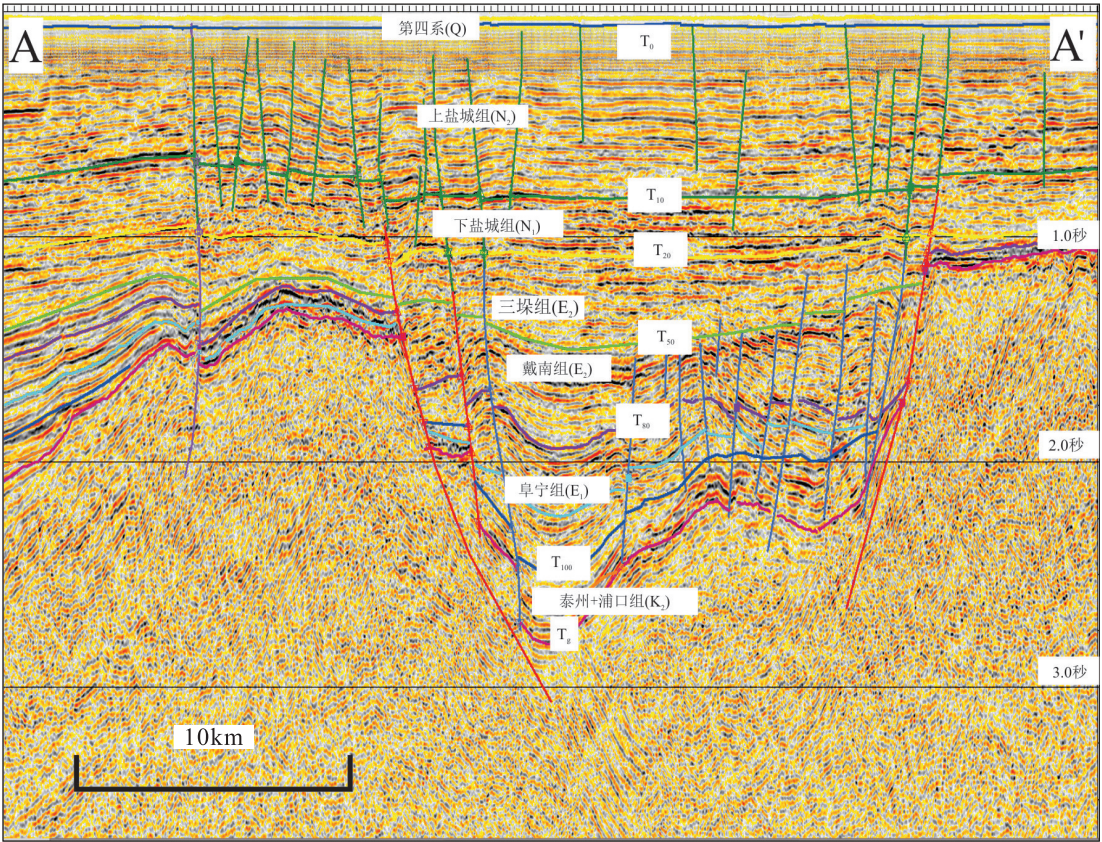


图3 新构造运动产生的正断层

Fig. 3 Normal faults generated by the neotectonic movement in the South Yellow Sea Basin

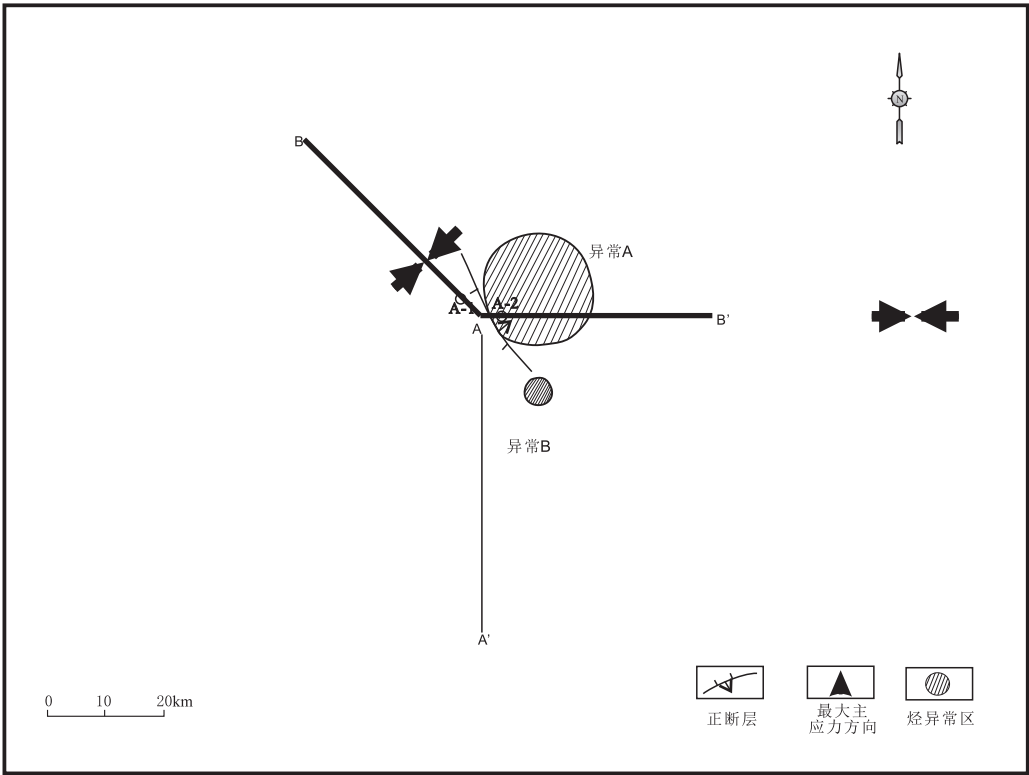


图 4 南黄海盆地北部坳陷第四纪活动断裂分布图

Fig.4 Distribution of the active faults in the northern depression of the South Yellow Sea Basin during the Quaternary

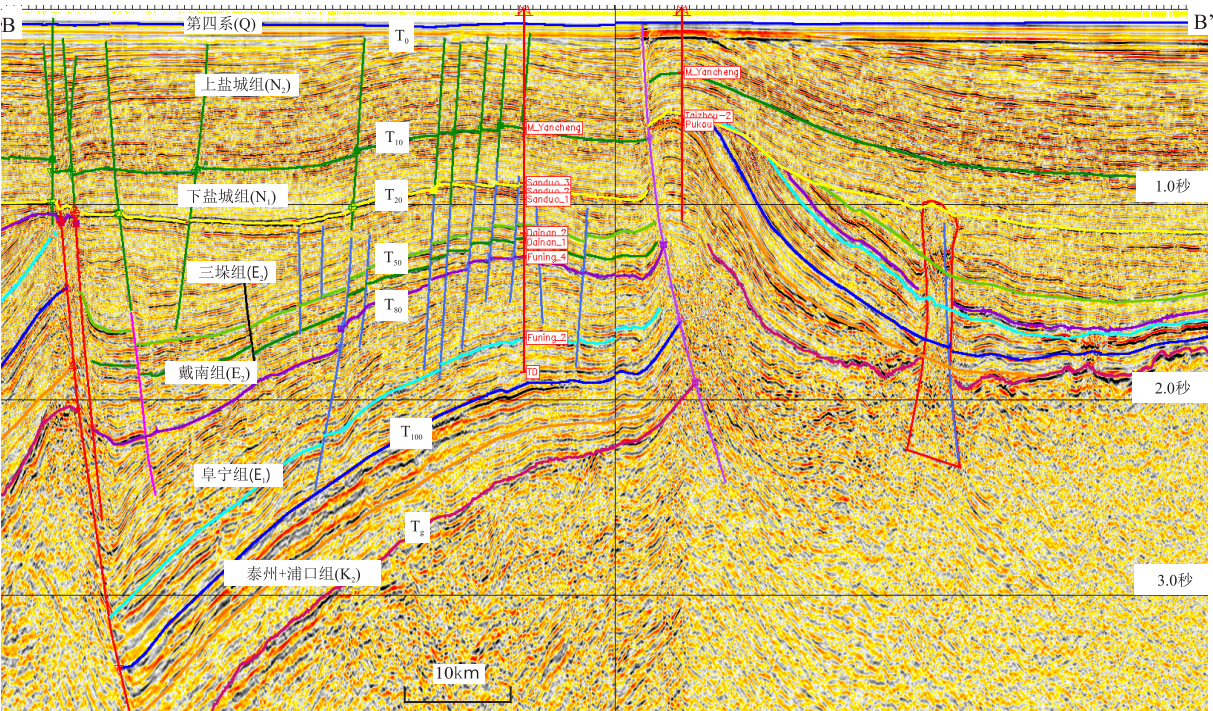


图 5 新构造运动产生的逆断层

Fig.5 Thrust faults generated by the neotectonic movement in the South Yellow Sea Basin

那么南黄海盆地新构造运动成因是什么呢?

根据朱光等对郯庐断裂带及邻区的板块运动研究^[16],郯庐断裂带以东的中国东部大陆边缘自白垩纪以来具有基本一致的大地构造环境。早白垩世及晚白垩世中国东部在东北及东南方向分别受到日本伊泽纳崎板块向西北方向运动及太平洋板块向西运动的影响,自中新世以后还受到菲律宾海板块向西北方向运动的影响。下面分4个阶段讨论南黄海盆地的应力环境及断裂的成因。

(1)晚白垩世至古近纪为北西-南东向伸展期。侯明金、朱光等对郯庐断裂带安徽段及邻区的动力学研究表明^[14,16],早白垩世中晚期到古近纪,郯庐断裂带安徽段的应力场明显地表现为北西-南东向的伸展,这与同期中国东部张裂作用形成大量北东-南西走向的沉积盆地相一致。南黄海盆地处于郯庐断裂带与太平洋板块之间的中国大陆东缘,晚白垩世至古近纪与郯庐断裂带安徽段的应力场特征基本一致,也为北西-南东向的张性应力场,形成南黄海地区晚白垩至始新世沉积盆地。

(2)古近纪晚期东西向挤压期。根据万天丰等对山东省及邻区古应力环境研究^[8-9,15],由于太平洋板块在40~34Ma突然由向北转为向西北方向运动,造成中国东部在34~23Ma之间受到近东西向的挤压应力影响。正是这种挤压应力造成南黄海盆地在渐新世期间的抬升和沉积间断,形成 T_{20} 角度不整合界面。同时也造成本研究区北西向F1断层由早期的正断层发生向西方向的逆冲作用,成为一条逆断距达1332m的逆断层(表1,图4、5)。

(3)中新世近南北向弱挤压期。万天丰对山东省及邻区(包括南黄海盆地)所发育的大量褶皱、断裂等地质资料研究基础上,恢复了该区地质历史的应力环境并把中国东部侏罗纪以来的构造演化划分为5个阶段^[8-9,15]。中新世、上新世期间,山东地区处于微弱的挤压应力作用下,最大主应力方向为 352° ,即近南北向。此应力场与喜马拉雅造山带的应力场一致,为印度-澳大利亚板块向北推移所致。在此应力场作用下,山东地区的先存近南北向断裂再次张裂,呈张剪性,同时形成了大量火成岩脉^[15]。由于南黄海盆地与山东地区紧邻且同处于中国东部大陆边缘,因此南黄海盆地中新世的应力场与山东地区相近,即近南北向弱挤压应力环境(图2箭头方向所示)。在这种环境下形成的南黄

海盆地中新统地层发生北北东向微弱的张裂作用,并在新世期间形成本区大量的北北东向、北东向张性断裂(图2)。

(4)上新世末-现今近东西向挤压期。根据侯明金、朱光等对郯庐断裂带安徽段及邻区的动力学研究^[4,15],该区中新统和上新统地层受到了上新世末两期近东西向挤压作用的影响:第一期以走滑构造运动为特征,北东东向挤压及东西向挤压、南北向伸展兼右行走滑;第二期表现为挤压间隙的伸展。根据徐杰等对中国东部海域现代构造应力场的研究^[12],中国东部海域现代应力场以挤压应力为主,在南黄海地区应力赤平投影显示为北东-南西向挤压(图4箭头方向所示),部分地区为近东西向挤压。这种挤压应力源自于中国中东部的块体挤出作用及太平洋板块的向西俯冲相互作用。在上述近东西向的挤压环境下,产生了南黄海地区北北西向断裂在上新世末到第四纪的逆冲(图4),同时也产生了众多近南北走向的背斜构造,形成了 T_0 角度不整合界面。

4 新构造运动对南黄海盆地油气成藏的影响

新构造运动产生的断裂有利于盆内深部油气向浅层运移,对油气成藏产生重大影响,渤海湾盆地就是很明显的例证^[17]。南黄海盆地新构造运动表现明显,对油气成藏也有重要影响。

(1)据烃源岩热史模拟结果(图6)及钻孔中烃类包裹体的分析,南黄海盆地北部坳陷烃源岩在始新世中、晚期进入生排烃高峰期,新近纪以来由于盆地的持续沉降作用,烃源岩持续排烃。新构造运动期间,断裂活动时间与烃源岩的生排烃期相迭合,该期的断裂活动有利于油气的垂向运移。

(2)新构造运动形成的垂向断裂是油气垂向运移主通道。泰州组中上部暗色泥岩是南黄海盆地主力烃源岩,在凹陷中心部位的泰州组烃源岩大量成熟并生排烃。其上覆地层是以泥岩为主的阜宁组地层,泥岩占地层厚度的76%。阜宁组砂岩含量低,砂岩单层厚度一般为2~5m之间,横向延伸距离小,多为不连续砂体,从泰州组烃源岩排出的油气很难在阜宁组地层中进行长距离的横向运移。因此,南黄海盆地主要的油气运移方式是垂向运移,

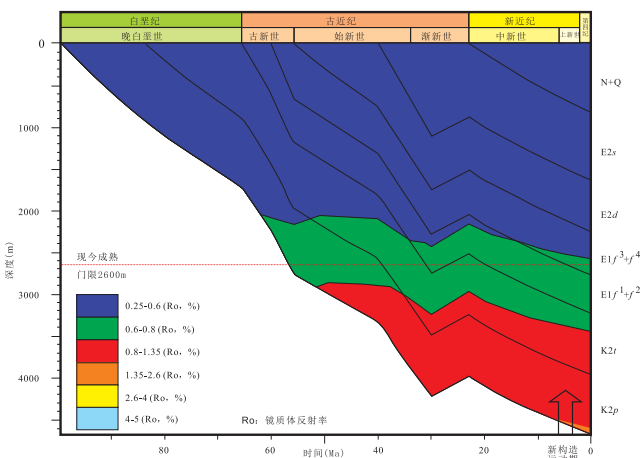


图6 南黄海盆地北部坳陷成熟史图

Fig. 6 Model showing the maturity history of the source rocks in the northern depression of the South Yellow Sea Basin

沟通深部烃源岩,在生排烃期间活动的大断裂是油气垂向运移及成藏的主要通道。新构造运动使先存的深大断裂重新活动,或在先存的断裂带上形成新的断层,这些断层在烃源岩的生排烃期活动,引导油气由烃源岩向中层圈闭及浅层圈闭中运移,并在断裂附近形成油气藏,甚至逸出到地表。

(3)海底地化调查证实油气已沿新构造运动形成的断裂逸出地表。据李双林等对南黄海盆地北部坳陷所采集79个样品的研究^[6],证实该区的海底存在由成熟烃类引起的地球化学异常。本次研究把上述烃类异常与南黄海盆地北部T₁₀地震批射层(N1顶面)的断裂叠合后发现,这些异常与新构造运动形成的断裂吻合度高,尤其是最大的异常A区与该区最大的F1逆断层高度吻合(图4),而异常B则可能与正断层有一定关系(图2),证实盆地内深部生成的烃类沿新构造运动形成的大断裂运移到海底并形成烃类异常。

综合上述分析,新构造运动形成的断裂是烃类垂向运移的通道。油气沿活动断层向上运移的过程中,一部分可能在断裂中下部的圈闭中成藏,另一部分可能沿断裂继续向浅层运移,甚至运移到海底。所以,新构造运动形成的断裂附近是油气成藏的有利区,但也可能导致部分油气的逸散。

南黄海盆地有利油气探区分析。从有效烃源岩的分布及新构造运动形成的断裂关系来看,勘探较有利的地区是靠近生烃中心且从浅至深的大断裂发育区。在这些区域,如果中深层存在较好的储

层及厚层泥岩盖层则为比较好的勘探区,如五莲构造带;如果上述区域的中深层储盖组合差或不具备圈闭条件,油气可能沿断裂继续向浅层运移。新构造运动在北部坳陷浅层形成了11个浅层的构造圈闭,且大部分有断裂与深部的烃源相连,所以这些圈闭也是油气成藏的良好场所。

新构造运动导致的高风险区分析。新构造运动对油气成藏有利也有弊,新构造运动产生的晚期断裂活动往往会对原来中深层形成的油气藏造成破坏,引起深部油气的逸散,降低了深部油气田的充满度。A-2井钻遇的深层构造没有油气发现(图5),证实逆断层造成了该构造深部圈闭中油气已向浅层泄漏。因此,新构造运动会造成与晚期活动大断层相连的中深部圈闭油气泄漏,今后的勘探应适当规避这方面的风险。

5 结论

(1)新构造运动在南黄海盆地的主要表现为中新统一第四系发育大量断层及褶皱。北部坳陷重点研究区内大部分断层为正断层,发育少量逆断层。正断层走向主要为北东向,活动强度较弱,其形成受新近纪南黄海地区近南北向弱挤压应力场控制;逆断层为北西走向,活动强度较大,具有古近纪晚期和中新世末—第四纪两期逆冲,其逆冲作用主要受古近纪晚期和中新世末—第四纪近东西向挤压应力影响。

(2)新构造运动的时间与南黄海盆地北部坳陷烃源岩的生排烃期重合,已有的海底地化调查证实新构造运动产生的断裂是南黄海盆地油气的垂向运移通道。

(3)新构造运动对油气成藏影响较大。靠近生烃中心且位于沟通深部烃源岩大断裂附近的圈闭是油气勘探有利区。新构造运动造成的风险是大断层的晚期活动可能导致中深部圈闭形成烃类泄漏。

参考文献:

- [1] 龚再升,王国纯.渤海新构造运动控制晚期油气成藏[J].石油学报,2001,22(2):1-7.
- [2] 龚再升.中国近海含油气盆地新构造运动与油气成藏[J].地球科学-中国地质大学学报,2004,29(5):513-517.
- [3] 侯方辉,张志珣,李三忠,等.南黄海新构造运动[J].海洋地

- 质动态, 2005, 21(11):8-10.
- [4] 侯明金, 朱光, Jacques Mercier, 等. 郯庐断裂带(安徽段)及邻区的动力学分析与区域构造演化[J]. 地质科学, 2007, 42(2):362-381.
- [5] 贾承造, 何登发, 石听, 等. 中国油气晚期成藏特征[J]. 地球科学, 2006, 36(5):412-420.
- [6] 李双林, 何拥军, 肖菲, 等. 南黄海北部盆地表层沉积物烃类地球化学探测[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2003, 23(4):40-44.
- [7] 刘卫红, 林畅松, 郭泽清, 等. 东海陆架盆地西湖凹陷新生代反转构造样式及其形成机制初探[J]. 地质科学, 2009, 44(1):74-87.
- [8] 任纪舜, 姜春发, 张正昆, 等. 中国大地构造作用及其演化[M]. 北京:科学出版社, 1980. 110-127.
- [9] 万天丰. 山东省构造演化与应力场研究[J]. 山东地质, 1992, 8(2):70-101.
- [10] 王庭斌. 新近纪以来的构造运动是中国气藏形成的重要因素[J]. 地质评论, 2004, 50(1):33-41.
- [11] 徐辉龙, 丘学林. 莺歌海盆地新构造运动与超压体系喷溢油气成藏作用[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2006, 26(3):93-100.
- [12] 徐杰, 周本刚, 计凤桔等. 中国东部海域及其邻区现代构造应力研究[J]. 地学前缘, 2012, 19(4):001-007.
- [13] 杨琦, 陈红宇. 苏北-南黄海盆地构造演化[J]. 石油实验地质, 2003, 25(增刊):562-565.
- [14] 姚永坚, 夏斌, 冯志强, 等. 南黄海古生代以来构造演化[J]. 石油实验地质, 2005, 27(2):124-128.
- [15] 朱光, 刘国生, 牛漫兰, 等. 郯庐断裂带晚第三纪以来的浅部挤压活动与深部过程[J]. 地震地质, 2002, 24(2):265-277.
- [16] 朱光, 王道轩, 刘国生, 等. 郯庐断裂的演化及其对西太平洋板块运动的响应[J]. 地质科学, 2004, 39(1):36-49.
- [17] 曾治平. 渤海新构造运动对渤海东部油气性质的影响[J]. 海洋地质动态, 2002, 18(9):1-5.

Neotectonic evolution and its influence on oil and gas accumulation in the South Yellow Sea Basin

CHEN Chunfeng

(Shanghai Branch, CNOOC, Shanghai 200335, China)

Abstract: Two phases of faulting once occurred in the South Yellow Sea Basin: Late Cretaceous to the Palaeogene, and the Neogene to the Quaternary, of which the Pliocene to the Quaternary is the main periods when the neotectonic movements were accentuated in the South Yellow Sea Basin. Vertically, the early NS-trending compressional faulting lead to the development of the extensional normal faults whereas the late EW-trending compressional faulting lead to the development of the thrust faults and folds. Horizontally, the downwarped faulting is highly active and the normal faults are well developed in the northern part of the Basin whereas in the southern part of the Basin, the downwarped faulting is relatively inactive. The timing of the neotectonic movements cited above is thought to be in agreement with those of the generation and expulsion of the hydrocarbons in the source rocks from the northern depression. The faults generated by the neotectonic movements may serve as not only the vertical migration channels for the hydrocarbons but also the favourable areas for the oil and gas accumulation in the South Yellow Sea Basin.

Key words: neotectonic movement; South Yellow Sea Basin; oil and gas accumulation